

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ДАВЛЕНИЯ КОНСОЛИДАЦИИ ПРИ ИСКРОВО-ПЛАЗМЕННОМ СПЕКАНИИ НАНОПОРОШКОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Геворкян Э.С.¹, Гуцаленко Ю.Г.²

¹Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, ²Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Рассматривается проблема физико-математического прогнозирования оптимального давления (P_{opt}) в процессах искрово-плазменного спекания нанопорошков диоксида циркония. Определены физические аспекты этой проблемы и представлен подход к расчету давлений в цикле прессования на стадии подготовки и экспериментальной разработки производства. Расчет основан на использовании закона Пашена применительно к рассматриваемой модели искрово-плазменной консолидации нанопорошков под давлением. Результаты расчета сопоставлены с практическим опытом энергосберегающего скоростного искрово-плазменного спекания тонкодисперсной высокоплотной керамики из нанопорошка ($\text{Zr}_{0,94}\text{Y}_{0,06}\text{O}_{1,88}$).

Согласно используемой гипотезе об оптимизации давления в цикле консолидации и спекания нанопорошков по методу ИПС

$$P_{\text{opt}} = k \cdot (P \cdot h)_{\text{opt}} / h, \quad (1)$$

где $(P \cdot h)_{\text{opt}}$ – характеристика минимума потенциала зажигания разряда в газе, Па·м; h – размерная характеристика нанопорошка, эквивалентная ожиданию наибольшей поры как наибольшего разрядного промежутка (диаметр зерна в сферической модели), м; k – поправочный коэффициент (в общем случае $0 < k < 1$); в рассмотрении в первом приближении среды как чисто воздушной и притом сухой $(P \cdot h)_{\text{opt}} = 0,8 \text{ Па} \cdot \text{м}$ и $k = 1$.

Путем просвечивающей электронной микроскопии установлено, что используемый порошок $\text{ZrO}_2(\text{Y})$ состоит из частиц близкой к сферической формы со средним размером $\sim 3\text{-}15 \text{ нм}$, образующих слабосвязанные агломераты со средним размером $\sim 100\text{-}500 \text{ нм}$. Перед предшествующим компактированию и спеканию помолом в шаровой мельнице исходный порошок $\text{ZrO}_2(\text{Y})$ имел подобные размерные характеристики, соответственно $5\text{-}10 \text{ нм}$ и $100\text{-}200 \text{ нм}$. Помолом в шаровой мельнице основная фракция порошка была приведена к размерности от $1,5 \text{ нм}$ до примерно 50 нм .

Из (1) следует, что основной мишенью в подавлении пористости ($P_{\text{opt}} = 30 \text{ МПа}$) следует рассматривать нанополости со средним размером $25\text{-}30 \text{ нм}$, что точно соответствует модальной области нормально распределенных размеров зерен исходного порошка.

Учитывая вышеизложенное, конкурентоспособный результат спекания, полученный при давлении 30 МПа со временем выдержки 5 мин. при максимальной температуре $1200 \text{ }^\circ\text{C}$, соответствует рассмотренному представлению о механизме электрофизических процессов подавления пористости в массиве спекаемого консолидата и выполненному по (1) расчету.